

生物

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 以下の文 A および B を読み、問 1-5 に答えなさい。

A. 私たちヒトのからだを構成しているさまざまな種類の細胞は、元をたどれば一つの受精卵⁽¹⁾を共通の出発点としている。その設計図は、1組の [ア] と [イ] 組の常染色体上に記述されている。遺伝情報の本体である DNA は、細胞が分裂を繰り返す過程で正確に複製される必要がある。しかし、場合によって DNA の塩基配列に変化が生じ、本来とは異なる形質が現れることがある。ガン細胞や白血病細胞で見られる遺伝子の変化は、多くの場合その細胞に特有のものであり、これらの変異を体細胞突然変異と呼ぶ。一方で、そのような変化が [ウ] に起こった場合には、それによって現れる形質が遺伝することになる。このような突然変異は、生物の [エ] の過程に密接に関与する反面、各種の遺伝病の原因ともなっている。

ダニエル・キイス原作の小説「アルジャーノンに花束を」は、フェニルケトン尿症⁽²⁾によって精神の発達に障害をもった青年を主人公としている。食物中から摂取される [オ] の一種であるフェニルアラニンは、一部はタンパク質の合成に使われるものの、大部分は酵素 P によって同じく [オ] の一種であるチロシンへと代謝され最終的には分解される。フェニルケトン尿症は、酵素 P をコードする遺伝子に突然変異が生じた結果、本来は分解されるべきフェニルアラニンが体内に過剰に蓄積して引き起こされる。

1. 空欄 [ア] ~ [オ] に適当な語句を入れなさい。
2. 下線 (1) に関連して、無性生殖と比較した場合に有性生殖のもつ長所を一つ挙げなさい。
3. 下線 (2) に関連して、フェニルケトン尿症は、出生後早期に発見して、成分を調整した人工ミルクで育てることで、ほぼ完全に発症を抑えることができる。どのような人工ミルクを与えるべきなのか答えなさい。

B. 色素を作る酵素の突然変異によって生じる白化個体 (アルビノ) に関して、次のような観察がなされたとする。

〈観察 1〉 動物種 X は平均体温 37℃ の恒温動物で、その体毛は通常は黒色である。この動物種のうちの 3 個体を観察した。黒色の個体 B, アルビノの個体 W, ならびに四肢の先端部の体毛だけが黒色でそれ以外の部分は全てアルビノと同様に白色である個体 M, である。これらの個体から、それぞれ色素を作る酵素を調製し、分子量 (注: 分子の大きさを表す単位) を調べると、B と M 由来の酵素の分子量はほとんど同じであったにも関わらず、W 由来の酵素の分子量のみ

が小さかった。さらに、それぞれの個体由来の酵素に関して試験管内で温度と酵素活性の関係を調べたところ、図1のような結果が得られた。

〈観察2〉 黒色の体毛を持つ別の個体 B' から色素を作る酵素を調製し、観察1と同様の実験をおこなったところ、B' 由来の酵素も B 由来の酵素と同様の酵素活性を示し分子量も全く同一であった。しかし、色素を作る酵素をコードする遺伝子の塩基配列を調べたところ、B 由来の遺伝子と比べて B' 由来の遺伝子に突然変異が生じていることが分かった。

4. 観察1に関連して、個体 M で四肢の先端部の体毛だけが黒色なのはなぜか、恒温動物においては筋肉の収縮や肝臓の働きで生み出される熱と皮膚からの放熱とのバランスで体温が調節されていることに着目して答えなさい。
5. 観察2に関連して、個体 B' 由来の色素を作る酵素をコードする遺伝子にはどのような変異が生じていると考えられるか、コドンという言葉を用いて説明しなさい。

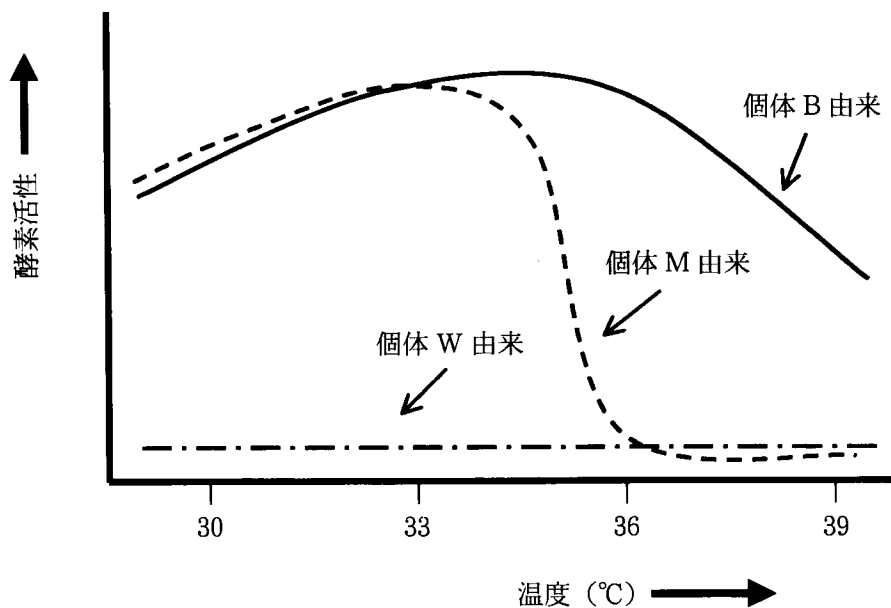


図1

II 以下の文を読み、問1-6に答えなさい。

動物は従属栄養生物⁽¹⁾ であるため、餌を得るために運動する必要がある。またその餌を取り入れる穴としての [A] がからだの運動方向の前部にできている。[A] の近くには餌をとるのに都合の良い構造や感覚器⁽²⁾ などを集中させたりして頭部ができる。からだの構造について考える場合、[A] とそれに続く消化管がどの部位に生じるかは重要なテーマである。

三胚葉性の動物は [A] のでき方によって大きく2つのグループに分けることができる。[B] がそのまま [A] になり、肛門は原腸末端に形成されるものは [C] 動物とよばれ、たとえば [ア] のような環形動物や [イ] や [ウ] のような軟体動物はこれに含まれる。もう1つは [B] あるいはその付近が肛門となり、[A] は別の部分にできるもので、これらは [D] 動物と呼ばれる。発生の実験でよく使われるウニは [エ] や [オ] などとともに後者の動物群の一員である。

[A] のでき方に関係するからだの軸性として頭部と尾部を結ぶ頭尾軸を考えることができる。また背と腹を結ぶ背腹軸もからだの設計図で重要な要素である。これらの軸は卵に存在する極性⁽³⁾ をもとにして決まっていくと考えられている。ウニの卵では動物極と植物極をむすぶ卵軸が存在する。この軸を地球儀の軸と見立てると、ウニの発生の第1および第2卵割は経線にそっておこり4細胞となる。2細胞期または4細胞期に割球をばらばらに分離すると、それぞれは形は小さいが完全なプルテウス幼生となる。このようにそれぞれが完全な個体に発生するように調節される卵を調節卵⁽⁴⁾ という。つぎの第3卵割は赤道面でおこって8細胞となる。そのつぎの第4卵割は動物半球では経線にそって、植物半球では緯線にそってそれぞれおこり16細胞⁽⁵⁾ となる。この際、植物半球の卵割は著しい不等割であり、もっとも植物極よりに4個の小割球ができる。この小割球は原腸形成の際に一次間充織細胞となり幼生の骨片に分化する。16細胞期ウニ胚の動物極に別のウニから小割球を移植すると、動物極においても原腸形成が起こり、本来は外胚葉に分化する動物極の細胞が陥入して内胚葉の一部となることがわかった。したがって小割球はまわりの細胞にはたらかけて原腸形成を [E] すると考えられる。

1. [A]～[E] に適当な語を漢字で入れ、[ア]～[オ] には適当な動物名を下の語群から選んで記入しなさい。

カイメン	プラナリア	アサリ	ゴカイ	イセエビ
ウミウシ	ネコ	クラゲ	ヒドラ	クモ
ゾウリムシ	カブトムシ	アメーバ	ホヤ	センチュウ

2. 下線部(1) 従属栄養生物が生態系の食物網の中で果たす役割(栄養段階)を漢字3文字で答えなさい。

3. 下線部(2) の感覚器とは具体的には何か、2つ挙げなさい。

4. 下線部（3）に関連して、卵の両極から何らかの状態が勾配をなしており、その勾配に応じて形づくりのプログラムがはたらくという考え方がある。ではその勾配の実体は何だろうか。一つのモデルとして、たとえば有機物の水溶液が詰まった風船のような構造の中で、その一端からある物質が単純に拡散すればその物質の濃度勾配ができる。この仮説は特に昆虫の初期胚では、そのままあてはめて考えやすい。それはなぜか、簡潔に述べなさい。
5. 下線部（4）に関連して、8細胞期においても経線にそって二分すれば各々は完全なプルテウス幼生となるが、赤道面で二分すると異常な胚が生じる（図1）。この違いの原因をさぐるため、さらにつぎのような実験1、2（図2）をおこなった。未受精卵を図2のような分割面で二分してから各々の半球に精子をかけると、卵核の有無に関わらずどちらの半球も発生が進んだ。これらの胚について原腸形成がおこったかどうかを調べて表1のような結果が得られた。これらの結果から、ウニ卵の調節能力について考察し、説明しなさい。
6. 下線部（5）のウニ胚を植物極側から見た図を描きなさい。

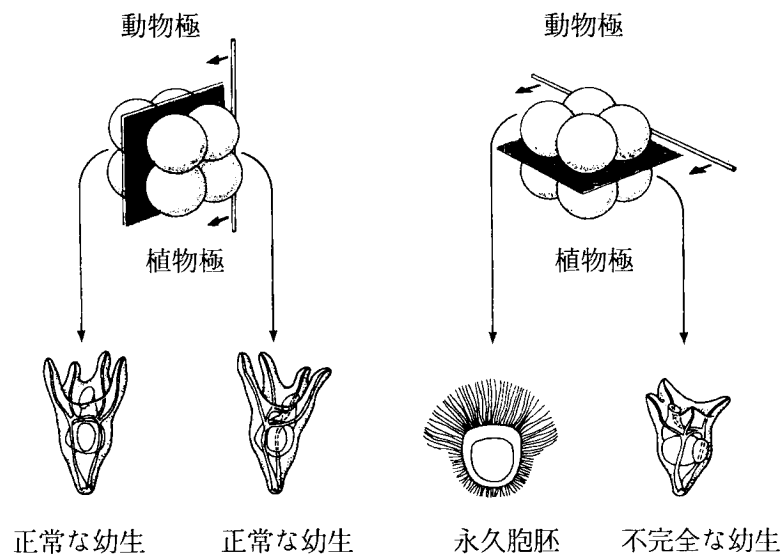


図1

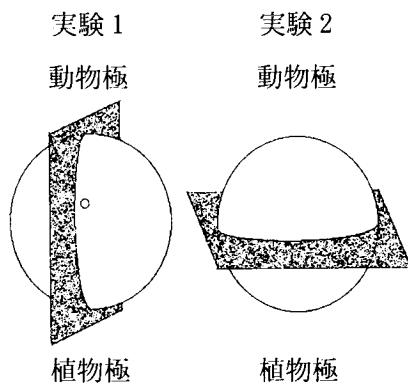


図2

表1. 各半球の受精後の発生分化の割合(%)

		永久胞胚となつたもの	原腸形成したもの
実験1	有核側	1	99
	無核側	1	99
実験2	動物半球	89	11
	植物半球	0	100

Ⅲ 次の A, B の問いに答えなさい。

A. 以下の文章を読み、問 1-2 に答えなさい。

ヒトを含めて動物は、外界からの光や音などの感覚刺激をうけとり、それに対して反応しながら生活している。神経系は、そのための重要な役割をはたしている。刺激に対する反応が意識せずに現れる場合、これを反射という。たとえば、膝蓋腱反射は代表的な反射である。ここでは刺激による興奮が受容器（感覚器）から [ア] 神経によって脊髄にある反射中枢に伝えられ、ここで [イ] 神経の興奮を引き起こし、効果器（作動体）に作用する。このような、刺激が与えられ反射が起こるまでの興奮伝達の経路を、[ウ] とよぶ。

さらに神経系は、内分泌系と協調して生体内部環境をある範囲の中に維持する⁽¹⁾。このような役割をはたす自律神経系の神経繊維の末端はある特定の器官とシナプスで接しており、その末端から神経伝達物質が分泌され、標的器官に作用する。それに対し、内分泌系においては、内分泌器官から [エ] が分泌される。[エ] は特定の内分泌器官から分泌され、[オ] によって全身へと運ばれて標的器官に作用し、特異的な効果をおよぼす。したがって生体内のいろいろな器官へ作用が到達する速度は、自律神経系のほうが内分泌系よりも [カ] と考えられる。

1. 空欄 [ア] ~ [カ] に適当な語句を入れなさい。
2. 下線部 (1) のようにして維持される、生体内部環境の具体例を 2 つ挙げなさい。

B. 以下の文章を読み、問 3-4 に答えなさい。

神経細胞（ニューロン）は静止状態（静止時）にあるときは、細胞の内側は外側に対して電気的に負（マイナス）になっている。このような細胞膜をへだてた電位差を膜電位という。神経細胞が静止時のとき、その膜電位を静止電位とよぶ。神経細胞を刺激すると、膜電位は逆転し、内側が外側に対して正（プラス）になるが、すぐにもとの静止電位にもどる。この一連の膜電位の変化を活動電位とよぶ。

ある種の 1 価のイオンが細胞膜を透過する時、その細胞の膜電位は、平衡時（細胞膜を介してのイオンの出入りがつりあっているとき）の細胞膜内外のイオン濃度をパラメータとし、以下の関係式であらわされる。

$$V = \frac{58}{Z} \times \log \left(\frac{C_o}{C_i} \right) \quad (\text{この関係式をネルンストの式とよぶ})$$

ただし、 V : 膜電位 (単位 : mV), C_i : 細胞内イオン濃度 (単位 : mM), C_o : 細胞外イオン濃度 (単位 : mM), \log : 常用対数, とする。さらに、 Z はこの式を適用するときのイオンが正に荷電したイオンのときは +1, 負に荷電したイオンのときは -1 の値をとるものとする。

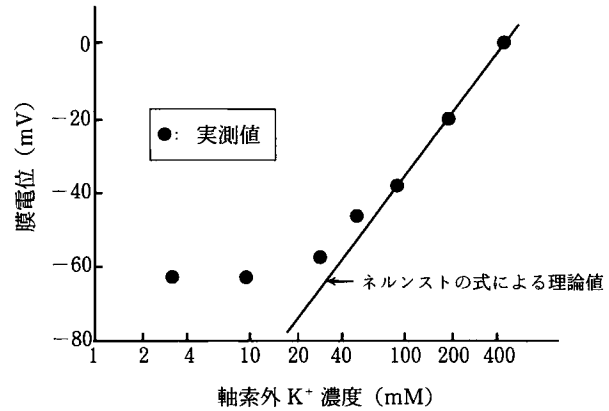
膜電位の研究モデルとしてよく使われる、イカの巨大神経軸索の内部の電位をネルンストの式

を用いて計算し、静止電位および活動電位の発生にどのようなイオンが関与するか考察してみよう。イカの巨大神経軸索の内外の主なイオン組成は下の表1の通りである。

表 1

イオン種	イオン濃度 (mM)	
	軸索内	軸索外
K ⁺	400	20
Na ⁺	44	440
Cl ⁻	40	560

図 1



軸索内イオン濃度、軸索外イオン濃度は、それぞれネルンストの式で規定した細胞内イオン濃度 (C_i)、細胞外イオン濃度 (C_o) に相当するとして、軸索内の電位を計算する。軸索が K⁺ だけを透過するとして計算すると膜電位は [ア], Na⁺ だけを透過するとして計算すると膜電位は [イ], Cl⁻ だけを透過するとして計算すると膜電位は [ウ], となる。このことから、神経細胞膜では K⁺ または Cl⁻ に対する透過性が高いために静止電位が生じているが、神経細胞が刺激されると Na⁺ に対する透過性が一時的に高くなるため活動電位が発生すると想像できよう。[注：ここでの考察では静止電位には K⁺、Cl⁻ のどちらか、あるいは両方が関与するかは決定できない]

つぎに、イカの神経軸索をかこむ外液に含まれる K⁺ をさまざまな濃度に変化させ、膜電位を計測した。そして、対数軸にした横軸に外液の K⁺ 濃度を、縦軸に膜電位をプロットした (図1)。黒丸は実測値、実線はネルンストの式で計算した理論値である [注：軸索内の K⁺ 濃度は 400 mM で、一定として計算]。外液の K⁺ 濃度が高い領域では膜電位の实測値と理論値が一致する。しかし、K⁺ の低濃度領域では2つの値は一致していない (1)。

3. ア、イ、ウの空欄を埋めるべき計算値を下記から選んで、記号で答えなさい。計算には下記の対数値を利用しなさい。自分で計算した値にもっとも近い膜電位の値を選ぶこと。

- 選択肢： (a) -75 mV (b) -67 mV (c) -58 mV (d) -41 mV
 (e) -15 mV (f) 15 mV (g) 41 mV (h) 58 mV
 (i) 67 mV (j) 75 mV

対数の値：log 2 = 0.30 log 3 = 0.48 log 5 = 0.70 log 7 = 0.85

4. 下線部 (1) が起こった理由を、問3の計算結果をもとにして、考察して記述しなさい。ただし、軸索内イオン組成および濃度は変わらないものとする。